"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

گزینش ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) متحمل به خشکی انتهای فصل بر اساس عملکرد دانه، پایداری عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش

Selection of tolerant barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes to terminal drought stress based on grain yield, yield stability and stress tolerance indices

علی براتی[۱]، الیاس آرزمجو[۲]، سید علی طباطبائی[۳] و منوچهر طاهری مازندرانی[۴]

چکیده

براتی، ع.، ا. آرزمجو، س. ع. طباطبائی و م. طاهری مازندرانی. ۱۴۰۲. گزینش ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) متحمل به خشکی انتهای فصل بر اساس عملکرد دانه، پایداری عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۵ (۳): ۲۷۴ -۲۵۸.**

تنش خشکی یکی از پیامدهای تغییرات اقلیمی است که آثار منفی قابل‌توجهی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی از جمله جو داشته و با توجه به جایگاه این گیاه در تغذیه دام و صنایع غذایی، بهبود تحمل به تنش خشکی از طریق معرفی ارقام اهمیت بسیار بالایی دارد. به‌منظور بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه، تعداد ۱۸ ژنوتیپ امیدبخش جو که از برنامه‌های به‌نژادی جو در اقلیم معتدل بدست آمده بودند، طی دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه ایستگاه تحقیقاتی ورامین، بیرجند و یزد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل (قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله) مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در دو سال، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۱ و ۳ به‌ترتیب با ۵۹۳۰، ۵۷۹۰ و ۵۷۸۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند. نتایج تجزیه بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۱۱،۱۲ و ۱۵ از پتانسیل عملکرد دانه بالاتری برخوردار بوده و نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر بودند. بر اساس شاخص بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک و شاخص تحمل به تنش، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۱ و ۳ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱، ۱۸ و ۹ نیز حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل بودند. با در نظر گرفتن آماره‌های پایداری شوکلا و اکووالانس ریک، نصار و هان، تنازرو،آماره کانگ، ضریب رگسیون ابرهارت و راسل و انحراف از خط رگرسیون، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۸، ۳، ٦ و ۱۵ بالاترین پایداری عملکرد دانه را داشتند که می‌توان از آنها به عنوان مواد ژنتیکی مناسب در برنامه‌های به‌نژادی جو استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آماره‌های پارامتری و ناپارامتری، اقلیم معتدل، بای‌پلات، جو و سازگاری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر به شماره مصوب ۹۹۱۱۱۴-۱۳۴-۰۳-۰۳-۰ می باشد.
۱- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران (مکاتبه‌کننده) (پست الکترونیک: elias.arazmjo@gmail.com)
۳- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۴- استادیار، بخش تحقیقات نظام‌های نوین زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران

Selection of tolerant barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes to terminal drought stress based on grain yield, yield stability and stress tolerance indices

Barati, A.[1], E. Arazmjoo[2], S. A. Tabatabaei[3] and M. Taheri Mazandrani[4]

ABSTRACT

Barati, A., E. Arazmjoo, S. A. Tabatabaei and M. Taheri Mazandrani. 2023. Selection of tolerant barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes to terminal drought stress based on grain yield, yield stability and stress tolerance indices. **Iranian Journal of Crop Sciences. 25(3): 258-274. (In Persian).**

Introduction: Among the cereal crops, barley is known as the fourth most important crop on a global scale and provides about 50% of the calories needed in the world. This plant can even make up to 70% of calories in less developed countries, especially in Africa and Asia. Terminal drought stress, as one of the consequences of climate change, has significant negative effects on the crop plants' growth and production. Considering the importance of barley as livestock feed and its role in food industry, development and introduction of drought stress tolerant barley cultivars is very important. To increase the levle of terminal drough tolerance, breeders should combine the improvement of grain yield along with high level of terminal drought tolerance. To reach this goal first step in this way is to select potential germplasm that have genotypic variation for drought tolerance.

Materials and Methods: Eighteen barley promising genotypes were evaluated for adaptation, grain yield and yield stability under none-stress and terminal drought stress condtions (withholding irrigation from the 50% spike emergence stage) using randomized complete blocks design with three replications in three research field stations; Varamin, Birjand and Yazd, Iran, in two cropping seasons (2020-21 and 2021-22). None-stress and stress experiments were carried out separately. In non-stress conditions, full irrigation was applied, and in terminal drough stress conditions, irrigation was withheld at the 50% spike emergence stage. The barley promising genotypes were selected from the advance barley grain yield comparison trial genotypes in the temperate zone stations of the country in the previous cropping season. After determining the grain yield in two conditions of none stress and drought stress, the stress indices including; MP, GMP, TOL, HARM, STI, YI, YSI, RSI and SSI as well as their correlation with grain yield were calculated using the iPASTIC program and the three-dimensional distribution diagram of genotypes in A, B, C and D ranges was drawn using Grapher software. Combined analysis of variance was performed to study genotypic variation and genotype × year interaction effect. Least significant difference (LSD) test was employed for mean comparison at the 5% propbabilty level. Different stability statistics as well as their relationships were calculated using Pearson correlation using STABILITYSOFT program.

Results: The results showed that YI, HM, GMP, STI and MP indices can be used to select barley genotypes adapted and suitable for areas that are prone to terminal drought season stress. In non-stress areas MP, STI, GMP, HM, TOL and SSI indices can be used for selection of suitable and adapted cultivars. According to the biplot diagram, genotypes 2, 3, 11, 12 and 15 had higher grain yield and terminal drough tolerant. Considering mean grain yield, yield stability statistics, and standard deviation of the rank of each of these statistics, genotypes 11, 8, 3, 6 and 15 had higher grain yield stability.

Conclusion: Considering mean grain yield, all stability statistics and stress indices, genotype no. 11 with pedigree of GS679.82/SHYRI//LAUREL/4/CERISE/SHYRI//… /5/MALOUH//Aths/ Lignee686/6/Nik, genotype no. 8 with pedigree of Anoidium//Alanda/Hamra-01/3/Lignee527/NK1272//JLB70-63/4/Nik, genotype no. 3 with pedigree of 82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29/4/Sahra, genotype no. 6 with pedigree of Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/Sahra and genotype no. 15 with pedigree of Ashar/Beecher/5/Lignee 527/Chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//Dl71/Strain 205 as superior genotypes that are suitable for cultivation in none-stress as well as terminal drought stress conditions in temperate agro-climate zone.

Keywords: Adaptation, Barley, Bi-plot, Parametric and non-parametric statistics, Regression and Temperate climate

Received: October, 2023 **Accepted: December, 2023**

1. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. Assistant Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Birjand, Iran (Corresponding author) (Email: elias.arazmjo@gmail.com)
3. Associate Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
4. Assistant Prof., Modern systems Crop Research Division, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Varamin, Iran

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که باعث کاهش تولید محصول انواع گیاهان زراعی از جمله جو می‌شود. تنش خشکی در انواع مناطق آب و هوایی از جمله در مناطق مستعد خشک‌سالی که ۱۶/۲ تا ۴۱/۲ درصد از زمین‌های قابل کشت در سراسر جهان را تشکیل می‌دهند، رخ می‌دهد (Kebede *et al.*, 2019). رشد جمعیت جهان، باعث افزایش تقاضا برای عرضه کمیت غذا و کیفیت بالاتر آن شده است (Tester and Langridge, 2010). در بین غلات، جو به‌عنوان چهارمین محصول مهم در مقیاس جهانی شناخته شده (FAO, 2020) و حدود ۵۰ درصد از کالری مورد نیاز انسان‌ها را در دنیا و تا ۷۰ درصد از کالری مورد نیاز را در کشورهای کمتر توسعه‌یافته، به‌ویژه آفریقا و آسیا، تامین می‌کند (Kearney, 2010). حدود ۷۵ درصد از تولید جهانی جو برای خوراک دام و ۲۵ درصد آن در تولید مالت و یا غذای انسان مصرف می‌شود. سطح زیر کشت جو ۵۱/۶ میلیون هکتار و تولید آن ۱۵۷ میلیون تن است (FAO, 2020). سطح زیر کشت جو در ایران در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ برابر ۱/۶۸۴/۷۱۴ هکتار شامل ۷۴۹/۷۲۶ هکتار کشت آبی و ۹۳۴/۹۹۰ هکتار کشت دیم بوده و میانگین عملکرد آنها به‌ترتیب ۳۱۹۵ و ۸۳۶ کیلوگرم در هکتار، مقدار محصول ۲/۳۹۵/۱۹۳ و ۷۸۱/۳۰۹ تن و در مجموع ۳/۱۷۶/۵۰۲ تن بوده است (Anonymous, 2023).

شناسایی ارقام جو متحمل به خشکی که بتوانند با حداقل آب مصرفی، محصول قابل قبولی تولید نمایند، ضروری است. تحمل تنش خشکی یک صفت کمّی است که توسط ژن‌های زیادی تنظیم می‌شود. برای تسهیل فرآیند به‌نژادی، منابع ژرم‌پلاسم و روش‌های ارزیابی قابل اعتماد برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد نیاز هستند. در بین گیاهان زراعی یکساله، جو تحمل بالایی به تنش‌های غیرزیستی دارد (Munns and Tester, 2008, Wiegmann *et al.*, 2019) و قابلیت کشت در مناطق متاثر از تغییرات آب و هوایی را دارد. ارقام جو دارای عملکرد مطلوب عمدتا فاقد تحمل کافی در برابر کمبود آب هستند و لازم است تا از پتانسیل ژنتیکی ژنوتیپ‌های موجود برای ایجاد ارقام متحمل استفاده کرد (Bornare *et al.*, 2012). گیاه جو حاوی ژن‌های متعدد مناسبی برای تحقیقات مرتبط با تنش خشکی است (Bornare *et al.*, 2012, Mosaddek Ahmed *et al.*, 2016). این گیاه تنوع ژنتیکی بالایی برای تحمل به تنش داشته و در نتیجه یک گیاه مدل مناسب برای مطالعه تنظیم ژنتیکی سازگاری با کمبود آب محسوب می‌شود. تحقیقات به‌نژادی برای تولید ارقام جدید جو که تحمل بالایی به خشکی داشته باشند، بسیار حائز اهمیت هستند. برای افزایش تحمل تنش خشکی، به‌نژادگران باید عملکرد دانه را همراه با تحمل بالا به خشکی بهبود بدهند که اولین قدم در این راه انتخاب ژرم‌پلاسم مناسبی است که دارای تفاوت‌های ژنوتیپی برای تحمل به خشکی باشد (Baenziger, 2016). در گذشته محققان زیادی به ارزیابی تحمل تنش خشکی در جو و گندم پرداخته‌اند، اما افزایش تحمل تنش خشکی این گیاهان به دلایل زیر موفق نبوده است: ۱- تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه اثر می‌گذارد ۲- بین ژنوتیپ و محیط برهمکنش وجود دارد که بر انتخاب تأثیر می‌گذارد ۳- تعداد زیادی ژن در تحمل تنش خشکی دخیل هستند که سهم تعداد زیادی از آنها در سازوکار تحمل تنش خشکی ناچیز است (Sallam *et al.*, 2019).

امینی و همکاران (Amini *et al.*, 2010) ضمن بررسی همبستگی رتبه‌ای بین آماره‌های مختلف پایداری و عملکرد، روش ناپارامتری رتبه‌بندی و معیار کانگ را معیارهای مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار گندم معرفی کردند. نیکخواه و همکاران (Nikkhah *et al.*, 2022) با ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ جو در چهار ایستگاه تحقیقاتی در اقلیم معتدل ایران در شرایط تنش خشکی انتهای فصل با استفاده از

شاخص‌های پایداری، ژنوتیپ‌های پایدار و متحمل به تنش خشکی را شناسایی کردند. نجفی‌میرک و همکاران (Najafi-Mirak *et al.,* 2019) از روش‌های رتبه بندی (R)، انحراف معیار رتبه (Sd-R)، ضریب تغییرات محیطی (CV) و روش AMMI برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم استفاده کرده و گزارش کردند که آماره‌های مختلف قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار می‌باشند. آهک‌پز و همکاران (Ahakpaz *et al.,* 2020) با ارزیابی ۱۰۸ ژنوتیپ جو در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی گزارش نمودند که شاخص‌های MP، GMP، STI، YI و SSPI دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه در هر دو شرایط بوده و بر این اساس ۲۵ ژنوتیپ جو متحمل به تنش خشکی را شناسایی کردند. اسلامی و همکاران (Eslami *et al.,* 2021) در ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های جو گزارش کردند که بیشترین مقدار همبستگی با عملکرد دانه مربوط به شاخص‌های K1STI، MP و GMP در شرایط تنش خشکی و شاخص‌های YI، WGMI، K2STI و HM در شرایط بدون تنش بود.

بهبود ژنتیکی تحمل به خشکی در گیاهان زراعی یکی از مقرون به صرفه‌ترین و پایدارترین روش‌ها برای افزایش بهره‌وری و پایداری تولید محصول است. با توجه به کمبود علوفه و فقر مراتع و توانایی و تولید بالا و سازگاری خوب گیاه جو با شرایط اقلیمی کشور، شناسایی ارقام جدیدی که دارای عملکرد بیشتری نسبت به ارقام موجود باشند، از اهمیت زیادی برخوردار است. بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی انتهای فصل بر اساس شاخص‌های حساسیت و تحمل در ژنوتیپ‌های امیدبخش جو اقلیم معتدل ایران، از اهداف این تحقیق بوده است.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی پایداری عملکرد دانه و ارزیابی اثر ژنوتیپ در محیط در ژنوتیپ‌های امیدبخش جو در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، تعداد ۱۸ ژنوتیپ امیدبخش حاصل از برنامه‌های به‌نژادی جو اقلیم معتدل (جدول ۱) به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰) در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل در سه ایستگاه تحقیقاتی ورامین، بیرجند و یزد مورد ارزیابی قرار گرفتند (۱۲ محیط). آزمایش‌های بدون تنش و تنش خشکی در هر سال به صورت مجزا و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شدند. در شرایط بدون تنش، آبیاری به صورت کامل انجام شد و در شرایط تنش، قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله صورت گرفت. ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی از آزمایش‌های مقایسه عملکرد ارقام و ژنوتیپ‌های پیشرفته جو ایستگاه‌های اقلیم معتدل کشور در سال قبل و بر اساس بالا بودن عملکرد دانه، تحمل به تنش خشکی، مقاومت به سرما، مقاومت به خوابیدگی بوته، ریزش دانه و بیماری‌های قارچی و زودرسی گزینش شده بودند. کاشت بذر ژنوتیپ‌های جو در هر سه ایستگاه با استفاده از دستگاه بذرکار اتریشی وینتراشتایگر مخصوص آزمایش‌های غلات در شش ردیف کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی دو پشته به طول شش متر و در کرت‌هایی مساحت ۷/۲ مترمربع به روش جوی و پشته انجام شد. زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل آیش بوده و تهیه زمین و کاشت بذر بر اساس عرف آزمایش‌های غلات در ایستگاه‌های یاد شده در نیمه اول آبان انجام شد. میزان مصرف کود بر اساس نتایج آزمون خاک هر ایستگاه بود. میزان بذر بر اساس تراکم ۳۵۰ بذر در مترمربع و مقدار بذر لازم برای هر کرت نیز بر اساس وزن هزار دانه هر یک از ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شد. برای کنترل علف‌های هرز پهن برگ از علف‌کش توفوردی (یک و نیم لیتر در هکتار) و علف‌های هرز باریک‌برگ از علف‌کش پوماسوپر (یک لیتر در هکتار) استفاده شد.

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های امیدبخش جو مورد ارزیابی

Table 1. Pedigrees of promising barley genotypes used in the experiment

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	شجره Pedigree	ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	شجره Pedigree
1	Michailo/Dobrinya//Yousef	10	Yousef/3/Dasht//EBC(a)/Badia/4/Nik
2	26216/4/Arar/3/Mari/Aths*2//M-Att-73-337-1/5/Nosrat	11	CANELA/3/HEGE GS679.82/SHYRI//LAUREL/4/CERISE/SHYRI//… /5/MALOUH//Aths/Lignee686/6/Nik
3	82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29/4/Sahra	12	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/Sahra
4	82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29/4/Sahra	13	ZBL-2640/Nosrat
5	Kavir/Badia/3/Torsh//9cr.279-07/Bgs/4/Karoon/Kavir/5/Sahra	14	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/Yousef
6	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/Sahra	15	Ashar/Beecher/5/Lignee 527/Chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//Dl71/Strain 205
7	Anoidium//Alanda/Hamra-01/3/Lignee527/NK1272//JLB70-63/4/Nik	16	Ashar/Beecher/3/Lignee527/NK1272//JLB70-63
8	Anoidium//Alanda/Hamra-01/3/Lignee527/NK1272//JLB70-63/4/Nik	17	BREA/DL70//TOCTE/3/BREA/DL70//CABUYA/4/TRADITION
9	Arbayan/NK1272/4/Arar/3/Mari/Aths*2//M-Att-73-337-1/5/Yousef	18	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/Sahra

برای تعیین عملکرد دانه، کل محصول کرت‌ها پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت برداشت و توزین شد. پس از تعیین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، با استفاده از برنامه iPASTIC، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شامل MP، GMP، TOL، HARM، STI، YI، YSI، RSI و SSI و همچنین همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه محاسبه شد (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019a). نمودار پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌ها در محدوده‌های A، B، C و D با استفاده از نرم‌افزار Grapher رسم شد. در روابط زیر، *Yp* و *Ys* به ترتیب میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و *Ypi* و *Ysi* نیز میانگین عملکرد هر یک از آن‌ها در دو شرایط است:

SI= 1− (*Ys* /*Yp*)	شدت تنش	(Fischer and Maurer, 1978)
SSI= (1 − (*Ysi* /*Ypi*))/ *SI*	تنش به شاخص حساسیت	(Fischer and Maurer, 1978)
TOL= *Ypi* - *Ysi*	شاخص تحمل	(Rosielle and Hamblin, 1981)
STI= (*Ypi* ×*Ysi*)/(*Yp*)^2	شاخص تحمل به تنش	(Fernandez, 1992)
MP= (*Ypi* + *Ysi*)/2	شاخص میانگین بهره‌وری	(Rosielle and Hamblin, 1981)
GMP= (*Ypi* ×*Ysi*)$^{0.5}$	میانگین هندسی بهره‌وری	(Fernandez, 1992)
HARM= (2×(*Ypi* × *Ysi*))/(*Ypi* + *Ysi*)	میانگین هارمونیک بهره‌وری	(Bidinger *et al.*, 1987)
YI= *Ysi* / *Ys*	شاخص عملکرد	(Gavuzzi *et al.*, 1997)
YSI= *Ysi* / *Ypi*	شاخص ثبات عملکرد	(Bouslama and Schapaugh, 1984)
RSI= (*Ysi* / *Ypi*) / (*Ys* + *Yp*)	شاخص تنش نسبی	(Fischer and Wood, 1979)

برای تعیین اثر اصلی و برهمکنش تیمارها، تجزیه واریانس مرکب در دو سال آزمایش به صورت جداگانه انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. قبل از اجرای تجزیه واریانس، آزمون یکنواختی خطاهای آزمایش به روش بارتلت انجام شد. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها و تجزیه همبستگی با استفاده از نرم افزار SAS-9.0 انجام شد. آماره‌های پایداری شامل شیب خط رگرسیون (*b*; Finlay and Wilkinson, 1963)، انحراف از خط رگرسیون (S^2d_i; Eberhart and Russell, 1966)، میانگین واریانس‌ها (θ_i; Plaisted and Peterson, 1959)، واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(i)}$; Plaisted, 1960)، اکووالانس ریک (W_i^2; Wricke, 1962)، واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i; Shukla, 1972)، ضریب تغییرات محیطی (*CV*; Francis and Kannenberg, 1978)، آماره‌های پایداری نصار و هان ($S^{(1-6)}$; Nassar and Huhn, 1987)، آماره‌های پایداری تنازرو ($NP^{(1-4)}$; Thennarasu, 1995) و مجموع رتبه کانگ (*KR*; Kang, 1988) و روابط بین این آماره‌ها بر اساس همبستگی پیرسون با استفاده از برنامه STABILITYSOFT محاسبه شدند (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019b).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمون یکنواختی واریانس خطای آزمایش بر اساس نتایج آزمون بارتلت نشان داد که واریانس خطاهای آزمایشی یکنواخت بود و تجزیه مرکب اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ می‌توان استنباط نمود که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف ژنتیکی قابل توجهی وجود داشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در دو سال، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۱ و ۳ به ترتیب با میانگین ۵۹۳۰، ۵۷۹۰ و ۵۷۸۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین و ژنوتیپ‌های ۱ و ۱۸ به‌ترتیب با ۴۷۱۰ و ۵۱۷۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد

دانه را داشتند (جدول ۲). معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های جو عملکرد دانه متفاوتی در محیط‌های مختلف داشته و بنابراین تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کفایت نمی‌کند و لازم است برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار از نظر عملکرد دانه که به شرایط مختلف محیطی سازگاری داشته باشند، تجزیه پایداری نیز انجام شود.

براساس آماره‌های پایداری شوکلا (σ^2) و اکووالانس ریک (W^2)، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۸، ۶ و ۱۴ جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها بوده و در مقابل، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۶، ۹ و ۱۲ از پایداری کمتری برخوردار بودند (جدول ۲). ضریب رگرسیون ابرهارت و راسل (b) و انحراف از خط رگرسیون (S^2d) معمولاً به طور همزمان برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده می‌شوند، به‌طوریکه اگر شیب خط رگرسیون یک ژنوتیپ با یک اختلاف معنی‌داری نداشته و در ضمن دارای کمترین انحراف از خط رگرسیون باشد، پایدارتر است (Eberhart and Russell, 1966). بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون ابرهارت و راسل، ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۴ به‌ترتیب با ضرایب رگرسیونی ۱/۰۱۱ و ۱/۰۴۷ و میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون ۰/۰۸۳ و ۰/۰۸۷ سازگاری عمومی و پایداری عملکرد مناسبی داشتند (جدول ۲). آرزمجو و نیکخواه چمن‌آباد (Arazmjoo and Nikkhah Chamanabad , 2022) نیز در ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو از روش رگرسیونی استفاده کرده و بر اساس آماره‌های ضریب رگرسیون (b) و انحراف از خط رگرسیون (S^2d)، ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار را شناسایی نمودند. بررسی ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کاننبرگ (CVi) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲، ۱۱، ۷ و ۱۸ کمترین ضریب تغییرات محیطی را داشتند (جدول ۲). براساس آماره‌های پایداری نصار و هان ($S^{(1-6)}$ Nassar and Huhn, 1987)، ژنوتیپ‌های دارای کمترین مقدار، پایدارتر هستند و بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۸ و ۱۵ پایدار شناخته شدند (جدول ۲). بر اساس آماره‌های پایداری تنازرو (Thennarasu, 1995) نیز ژنوتیپ‌های با کمترین مقدار، پایدارتر هستند. براساس معیار ناپارامتری $NP^{(1)}$، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۸، ۱۱ و ۶، براساس معیار $NP^{(2)}$، ژنوتیپ‌های ۲، ۱۱، ۶ و ۸ براساس معیار $NP^{(3)}$، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۲، ۳ و ۱۵ و براساس معیار $NP^{(4)}$، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۵، ۳ و ۲ به ترتیب به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۲). بر اساس آماره کانگ (KR) (Kang, 1988)، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۳، ۱۵ و ۴، براساس واریانس برهمکنش ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(i)}$) ژنوتیپ‌های ۱۱، ۸، ۶ و ۱۴ و براساس آماره پلستید و پترسون (θ_i) (Plaisted and Peterson, 1959) ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۶، ۹ و ۱۲ به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند (جدول ۲). در مجموع و با در نظر گرفتن آماره‌های فوق، میانگین و انحراف معیار رتبه هر یک از این آماره‌ها و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۸، ۳، ۶ و ۱۵ بالاترین پایداری عملکرد دانه را داشتند (جدول ۲). برای ارزیابی همبستگی بین آماره‌های پایداری، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ۳). بر این اساس عملکرد دانه با هیچ یک از آماره‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری نداشت، اما به‌ترتیب با آماره‌های $NP^{(4)}$، $S^{(6)}$، $NP^{(3)}$، KR و $NP^{(2)}$ همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۳)، بنابراین می‌توان از آماره‌های فوق برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کرد. براتی و همکاران (Barati *et al.*, 2021) نیز در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش جو در اقلیم گرم گزارش نمودند که آماره‌های $S_i^{(3)}$، $S_i^{(6)}$، $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ همبستگی منفی بالایی با عملکرد دانه داشته و آماره‌های $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$ همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نداشتند.

جدول ۲- میانگین عملکرد دانه و آماره‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری در ژنوتیپ‌های امیدبخش جو

Table 2. Mean grain yield and parametric and non-parametric stability statistics of promising barley genotypes

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	آماره‌های پایداری نصار و هان Nassar and Huehn's stability $S^{(1)}$	$S^{(2)}$	$S^{(3)}$	$S^{(6)}$	آماره‌های پایداری تنازرو Thennarasu's stability statistics $NP^{(1)}$	$NP^{(2)}$	$NP^{(3)}$	$NP^{(4)}$	اکووالانس ریک W_i^2	واریانس پایداری شوکلا σ^2_i	انحراف از خط رگرسیون s^2d_i	ضریب رگرسیون ابرهارت راسل b_i	ضریب تغییرات محیطی CVi	واریانس ژنوتیپ و محیط $\theta_{(i)}$	میانگین واریانس‌ها θ_i	مجموع رتبه کانگ *K*R	مجموع رتبه‌ها AR	انحراف معیار SD
1	4705	2.93	9.87	18.50	4.75	4.33	4.56	1.85	1.10	1.10	0.23	0.14	1.11	30.83	0.30	0.27	26	12.1	5.8
2	5735	6.07	28.97	10.47	1.69	4.17	0.28	0.36	0.44	1.40	0.30	0.16	0.81	19.50	0.30	0.31	16	7.0	4.0
3	5775	4.60	14.17	5.52	1.48	3.67	0.41	0.37	0.36	0.99	0.20	0.14	0.98	22.52	0.30	0.26	9	5.4	2.7
4	5355	5.67	24.57	12.49	2.75	5.67	0.45	0.58	0.58	1.00	0.21	0.13	0.89	22.14	0.30	0.26	14	8.6	3.0
5	5330	6.60	28.30	16.65	2.94	4.83	0.52	0.66	0.78	1.17	0.24	0.17	0.96	24.23	0.30	0.28	18	11.1	2.2
6	5270	4.33	12.70	7.47	2.00	2.83	0.33	0.40	0.51	0.59	0.11	0.08	1.01	24.73	0.31	0.22	16	6.1	3.8
7	5345	6.80	30.27	15.66	2.69	4.50	0.41	0.56	0.70	1.27	0.27	0.16	0.85	21.60	0.30	0.29	18	9.9	2.5
8	5270	3.40	7.90	5.27	1.73	2.33	0.35	0.42	0.45	0.41	0.07	0.04	1.11	26.60	0.31	0.20	14	5.4	4.8
9	5220	6.13	32.80	23.43	3.43	3.83	0.70	0.77	0.88	1.86	0.40	0.26	1.06	27.73	0.29	0.35	32	14.4	4.1
10	5490	6.80	32.67	16.90	3.10	6.33	0.48	0.66	0.70	1.75	0.37	0.24	1.07	26.38	0.29	0.34	20	12.9	3.3
11	5790	2.93	5.87	2.15	0.88	2.67	0.28	0.23	0.21	0.23	0.03	0.02	0.92	19.95	0.31	0.18	3	2.4	4.2
12	5685	6.53	31.07	13.71	2.41	5.50	0.36	0.53	0.58	1.76	0.38	0.25	1.01	24.36	0.29	0.34	20	10.8	4.1
13	5265	7.53	37.90	18.05	2.76	5.33	0.43	0.58	0.72	4.21	0.93	0.49	0.69	22.67	0.26	0.60	32	13.8	4.8
14	5225	4.80	20.27	12.16	2.08	1.83	0.40	0.39	0.58	0.63	0.12	0.09	1.05	25.82	0.31	0.22	19	7.4	4.0
15	5930	3.67	10.17	3.59	1.08	4.50	0.55	0.38	0.26	1.35	0.28	0.15	1.19	26.18	0.30	0.30	12	6.9	4.6
16	5280	7.40	37.37	26.07	4.05	6.00	0.83	0.89	1.03	2.88	0.63	0.24	1.39	34.61	0.28	0.46	27	15.4	4.1
17	5270	4.80	15.87	10.35	2.61	4.33	0.39	0.66	0.63	0.84	0.17	0.11	1.11	27.19	0.30	0.25	16	8.3	3.4
18	5170	6.67	29.60	18.50	3.00	4.00	0.55	0.64	0.83	1.73	0.37	0.20	0.80	21.75	0.29	0.34	30	12.4	3.6
$LSD_{5\%}$	524																		

$S^{(1-6)}$, Nassar and Huehn's stability statistics; $NP^{(1-4)}$, Thennarasu's stability statistics; W_i^2, Wricke's ecovalence; σ^2_i, Shukla's stability variance; bi, Eberhart and Russell regression coefficient; S^2d, deviation from regression; CV, coefficient of variance; θ(i), GE variance component; θ_i, mean variance component, Plaisted and Peterson; KR, Kang's sum of ranks; SR, Sum of ranks; ASR, Average of sum of ranks, and SD and Standard deviation

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و آماره‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری در ژنوتیپ‌های امیدبخش جو

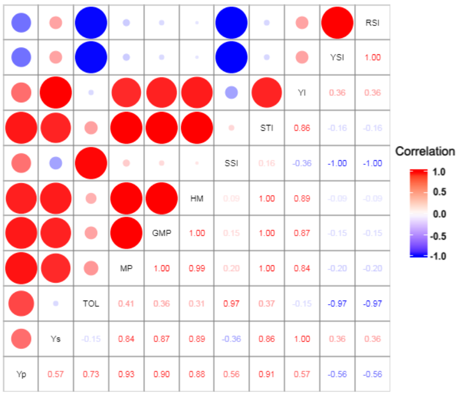
Table 3. Correlation coefficients between grain yield and parametric and non-parametric stability statistics in the promising barley genotypes

	عملکرد دانه Grain yield	آماره‌های پایداری نصار و هان Nassar and Huehn's stability statistics				آماره‌های پایداری تنازرو Thennarasu's stability statistics				اکووالانس ریک	واریانس پایداری شوکلا	انحراف از خط رگرسیون	ضریب رگرسیون ابرهارت راسل	ضریب تغییرات محیطی	واریانس ژنوتیپ و محیط	میانگین واریانس‌ها	مجموع رتبه کانگ
	Grain yield	$S^{(1)}$	$S^{(2)}$	$S^{(3)}$	$S^{(6)}$	$NP^{(1)}$	$NP^{(2)}$	$NP^{(3)}$	$NP^{(4)}$	W_i^2	σ^2_i	s^2d_i	b_i	CVi	$\theta_{(i)}$	θ_i	*K*R
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
(1)	1																
(2)	-0.04^{ns}	1															
(3)	-0.11^{ns}	0.98**	1														
(4)	-0.59*	0.71**	0.79**	1													
(5)	-0.79**	0.39^{ns}	0.48^{ns}	0.88**	1												
(6)	0.04^{ns}	0.65**	0.65**	0.54*	0.49*	1											
(7)	-0.62**	-0.34^{ns}	-0.23^{ns}	0.30^{ns}	0.64**	0.08^{ns}	1										
(8)	-0.74**	-0.04^{ns}	0.07^{ns}	0.59**	0.87**	0.31^{ns}	0.92**	1									
(9)	-0.80**	0.45^{ns}	0.53*	0.92**	0.98**	0.42^{ns}	0.57*	0.81**	1								
(10)	-0.11^{ns}	0.73**	0.77**	0.65**	0.42^{ns}	0.63**	-0.01^{ns}	0.20^{ns}	0.46^{ns}	1							
(11)	-0.11^{ns}	0.73**	0.77**	0.65**	0.42^{ns}	0.63**	-0.01^{ns}	0.20^{ns}	0.46^{ns}	1.00**	1						
(12)	-0.10^{ns}	0.73**	0.77**	0.62**	0.41^{ns}	0.62**	-0.01^{ns}	0.19^{ns}	0.43^{ns}	0.96**	0.96**	1					
(13)	-0.07^{ns}	-0.26^{ns}	-0.22^{ns}	0.10^{ns}	0.23^{ns}	0.05^{ns}	0.24^{ns}	0.29^{ns}	0.19^{ns}	-0.15^{ns}	-0.15^{ns}	-0.27^{ns}	1				
(14)	-0.48^{ns}	-0.04^{ns}	0.04^{ns}	0.49*	0.63**	0.21^{ns}	0.48*	0.62**	0.60**	0.19^{ns}	0.19^{ns}	0.09^{ns}	0.86**	1			
(15)	0.11^{ns}	-0.73**	-0.77**	-0.65**	-0.42^{ns}	-0.63**	0.01^{ns}	-0.20^{ns}	-0.46*	-1.00**	-1.00**	-0.96**	0.15^{ns}	-0.19^{ns}	1		
(16)	-0.11^{ns}	0.73**	0.77**	0.65**	0.42^{ns}	0.63**	-0.01^{ns}	0.20^{ns}	0.46^{ns}	1.00**	1.00**	0.96**	-0.15^{ns}	0.19^{ns}	-1.00**	1	
(17)	-0.64**	0.59^{ns}	0.68**	0.88**	0.76**	0.35^{ns}	0.30^{ns}	0.54*	0.83**	0.72**	0.72**	0.73**	-0.05^{ns}	0.41^{ns}	-0.72**	0.72**	1

GY, Grain yield; S(1– 6), Nassar and Huehn's and Huehn's stability statistics; NP(1–4), Thennarasu's stability statistics; W_i^2, Wricke's ecovalence; σ^2, Shukla's stability variance; bi, Eberhart and Russell regression coefficient; S^2d_i, deviation from regression; CV, coefficient of variance; θ(i), GE variance component; θ, mean variance component, Plaisted and Peterson and KR, Kang's sum of ranks

نتایج مربوط به عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys) و شاخص‌های ارزیابی تنش در دو سال آزمایش نشان داد که بر مبنای شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل (TOL) که مقادیر پایین عددی آن‌ها نشان دهنده تحمل بالاتر نسبت به تنش است، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۴ و ۱۴ به‌ترتیب دارای کمترین مقادیر بوده و به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۸، ۳، ۶ و ۱۵ نیز به‌ترتیب دارای بیشترین مقادیر بوده و به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناخته شدند. بر اساس شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل به تنش (STI) که مقادیر بالای آن‌ها نشان‌دهنده متحمل‌تر بودن است، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۱ و ۳ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱، ۱۸ و ۹ نیز حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل بودند. بر اساس شاخص تنش نسبی (RSI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) نیز که مقادیر بالای آنها نشان‌دهنده متحمل‌تر بودن است، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۴ و ۱۴ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۸، ۶ و ۳ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناخته شدند. بر اساس شاخص عملکرد (YI) که مقادیر بالای آن نشان‌دهنده متحمل‌تر بودن است، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۵ و ۴ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱، ۸ و ۶ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل بودند (جدول ۵). در مجموع و بر اساس میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها (AR) ژنوتیپ‌های ۱۱، ۴، ۱۵ و ۱۳ به ترتیب به عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۶ و ۱۸ نیز به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل شناسایی گردیدند (جدول ۵).

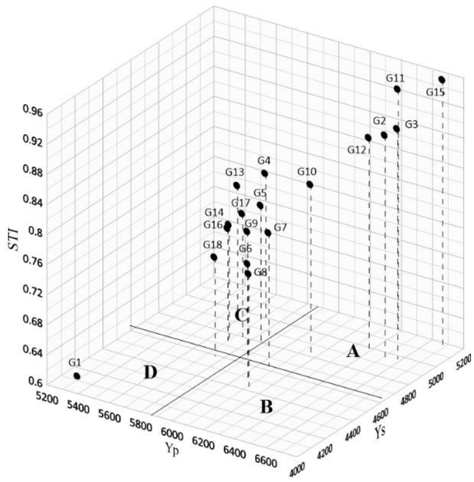
نتایج تجزیه همبستگی بین شاخص‌های ارزیابی تنش و عملکرد دانه در دو محیط در شکل ۱ ارائه شده است. در شکل ضرایب همبستگی به صورت دایره‌های کوچک و بزرگ نشان داده شده است. بزرگ‌تر بودن قطر دایره‌ها نشان دهنده همبستگی بسیار معنی‌دار بین دو آماره است. طیف‌های رنگی سفید تا قرمز و آبی تا سفید نیز به‌ترتیب نشان دهنده مثبت و منفی بودن ضرایب است. بر این اساس بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی همبستگی ضعیف و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش، لزوماً در شرایط تنش خشکی عملکرد خوبی ندارند (شکل ۱). میانگین نتایج دو ساله نشان داد که عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی انتهای فصل (Ys) به ترتیب با شاخص‌های YI، HM، GMP، STI و MP همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته و با سایر شاخص‌های مورد ارزیابی همبستگی معنی‌داری نداشت (شکل ۱). نتایج تجزیه همبستگی در شرایط بدون تنش (Yp) نیز نشان داد که عملکرد دانه به‌ترتیب با شاخص‌های MP، STI، GMP، HM، TOL و SSI همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته و با شاخص‌های YSI و RSI همبستگی معنی‌داری نداشت (شکل ۱). بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای انتخاب ژنوتیپ‌های جو در مناطقی که با خشکی انتهای فصل مواجه هستند می‌توان به ترتیب از شاخص‌های YI، HM، GMP، STI و MP و برای انتخاب در مناطقی که با خشکی انتهای فصل مواجه نیستند از شاخص‌های MP، STI، GMP، HM، TOL و SSI استفاده کرد. آرزمجو و نیکخواه چمن‌آباد (Arazmjoo and Nikkhah Chamanabad, 2022) نیز با ارزیابی ۱۹ ژنوتیپ جو همراه با رقم شاهد گوهران گزارش نمودند که برای انتخاب ژنوتیپ‌های جو در مناطقی که با تنش خشکی انتهای فصل مواجه هستند، می‌توان از شاخص‌های YI، HM، STI و GMP استفاده نمود و ژنوتیپ‌های ۲۰، ۱۱ و ۱۴ را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهای فصل گزارش کردند.



شکل ۱- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش جو و شاخص‌های ارزیابی تنش در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys)

Fig. 1. Correlation coefficient between grain yield of promising barley genotypes and stress indices under normal (Yp) and terminal drought stress (Ys) conditions

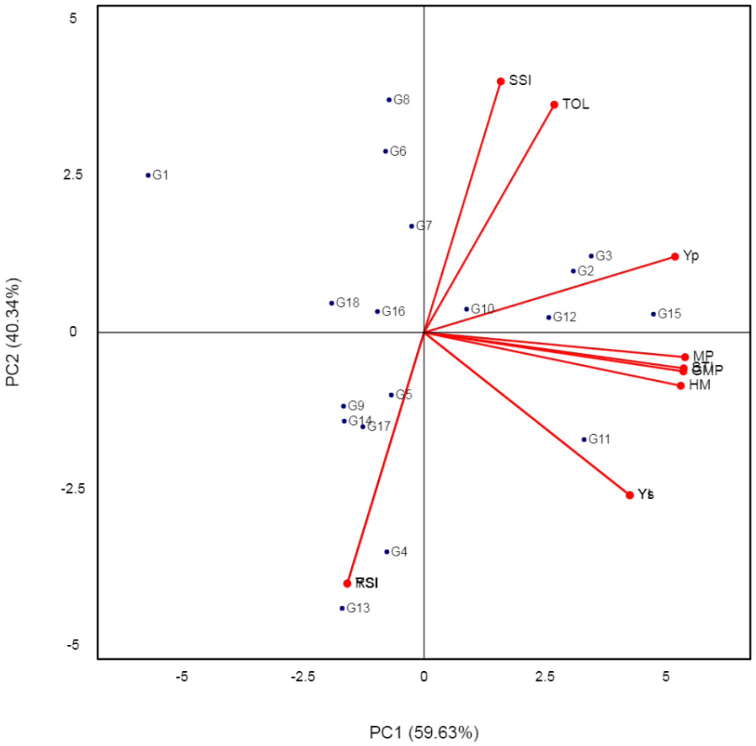
نمودار پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌های جو بر اساس عملکرد دانه در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل و شاخص STI در شکل ۲ ارائه شده است. در این نمودار ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل عملکرد بالایی دارند درگروه A، ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی دارند در گروه B، ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش خشکی عملکرد بالایی دارند در گروه C و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد نسبتاً کمتری دارند در گروه D قرار دارند (Fernandez, 1992). بر این اساس ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۵ در گروه A و ژنوتیپ‌های ۱ و ۱۸ در گروه D قرار گرفتند (شکل ۲). سایر محققان نیز از نمودارهای سه بعدی برای تشخیص گروه A در ژنوتیپ‌های ارزن و جو استفاده کرده‌اند (Nakhaei *et al.*, 2019; Arazmjoo and Nikkhah Chamanabad, 2022).



شکل ۲– نمودار سه بعدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش جو در شرایط بدون تنش (Yp)، تنش خشکی انتهای فصل (Ys) و شاخص STI (۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰)

Fig. 2. 3D graph of grain yield of promising barley genotypes under normal (Yp), terminal drought stress (Ys) and STI index (2020-2021 and 2021-2022)

استفاده از بای‌پلات به دلیل مقایسه همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس کلیه صفات، در مقایسه با تحلیل همبستگی ساده روش مناسب‌تری برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در شرایط بدون تنش و تنش است. بر اساس نمودار بای‌پلات، سهم مولفه اول ۵۹/۶ درصد و سهم مولفه دوم ۴۰/۳ درصد بود (شکل ۳). با توجه به اینکه مولفه اول شامل تغییراتی است که توسط مولفه دوم قابل تبیین نیست و برعکس، بنابراین امکان نمایش تغییرات دو مولفه فوق‌الذکر به صورت عمود بر یکدیگر وجود دارد و بر این اساس ژنوتیپ‌های جو بر اساس این مولفه‌ها در سطح نمودار به صورت نقاط نشان داده شده‌اند (شکل ۳). نتایج نشان داد که مولفه اصلی اول همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های MP، STI، GMP و HM داشت (شکل ۳)، بنابراین این مولفه با تحمل به تنش خشکی ارتباط دارد. در کلیه این شاخص‌ها، مقادیر عددی بالای آن‌ها مطلوبیت داشته و هرچه مقدار مولفه افزایش یابد، ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و متحمل به تنش انتخاب می‌شوند. مولفه دوم نیز همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های TOL و SSI داشت (شکل ۳). در این شاخص‌ها مقادیر عددی پایین مطلوبیت داشته و بنابراین مولفه دوم نشان دهنده حساسیت به تنش بوده و هرچه بر مقدار آن افزوده شود، ژنوتیپ‌های با حساسیت بیشتر به تنش خشکی انتخاب می‌شوند. بر اساس نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۱۱،۱۲ و ۱۵ از پتانسیل عملکرد دانه بالاتری برخوردار بوده و نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر هستند (شکل ۳).



شکل ۳- بای‌پلات عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش جو در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys) در شاخص‌های ارزیابی تنش براساس اولین و دومین مولفه اصلی (۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰)

Fig. 3. Biplot of promising barley genotypes in stress indices and grain yield under normal (Yp) and terminal drought stress (Ys) conditions based on the first and second main components (2020-2021 and 2021-2022)

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش جو (کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی انتهای فصل (Ys) و شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش و رتبه‌بندی آن‌ها (۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰)

Table 5. Mean of grain yield (kg.ha^{-1}) of promising barley genotypes under normal (Yp) and terminal drought stress (Ys) conditions and tolerance and susceptibility indices and their ranking (2020-2021 and 2021-2022)

ژنوتیپ‌های جو Barley genotypes	عملکرد دانه بدون تنش Grain yield in Non-stress		عملکرد دانه در تنش Grain yield in drought stress		درصد کاهش عملکرد Yield reduction (%)	شاخص تحمل Tolerance index		شاخص میانگین بهره‌وری Mean productivity		میانگین هندسی بهره‌وری Geometric mean productivity		میانگین هارمونیک بهره وری Harmonic mean		شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index		شاخص تحمل به تنش Stress tolerance index		شاخص عملکرد Yield index		شاخص ثبات عملکرد Yield stability index		شاخص تنش نسبی Relative stress index		میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل شاخص‌ها Average of rank	انحراف معیار رتبه ژنوتیپ در کل شاخص‌ها Standard deviation of rank
	Yp	R	Ys	R.		TOL	R.	MP	R.	GMP	R.	HM	R.	SSI	R.	STI	R.	YI	R.	YSI	R.	RSI	R.		
1	5300	18	4110	18	22.45	1.19	9	4.71	18	4.67	18	4.63	18	1.10	12	0.60	18	0.86	18	0.78	12	0.97	12	15.55	3.50
2	6510	3	4960	7	23.81	1.55	14	5.74	4	5.68	4	5.63	4	1.17	15	0.90	4	1.04	7	0.76	15	0.96	15	8.36	5.22
3	6580	2	4970	6	24.47	1.61	17	5.78	3	5.72	3	5.66	3	1.20	16	0.91	3	1.04	6	0.76	16	0.95	16	8.27	6.45
4	5710	14	5000	3	12.43	0.71	2	5.36	7	5.34	7	5.33	7	0.61	2	0.79	7	1.05	3	0.88	2	1.10	2	5.09	3.75
5	5850	11	4810	9	17.78	1.04	6	5.33	9	5.30	8	5.28	8	0.87	6	0.78	8	1.01	9	0.82	6	1.03	6	7.82	1.66
6	6050	9	4490	16	25.79	1.56	15	5.27	11	5.21	13	5.15	15	1.27	17	0.75	13	0.94	16	0.74	17	0.93	17	14.45	2.66
7	6060	8	4630	14	23.60	1.43	13	5.35	8	5.30	9	5.25	10	1.16	14	0.78	9	0.97	14	0.76	14	0.96	14	11.55	2.70
8	6110	7	4430	17	27.50	1.68	18	5.27	11	5.20	15	5.14	16	1.35	18	0.75	15	0.93	17	0.73	18	0.91	18	15.45	3.50
9	5700	15	4740	12	16.84	0.96	5	5.22	16	5.20	16	5.18	14	0.83	5	0.75	16	0.99	12	0.83	5	1.04	5	11.00	4.96
10	6150	6	4830	8	21.46	1.32	11	5.49	6	5.45	6	5.41	6	1.06	10	0.82	6	1.01	8	0.79	10	0.99	10	7.91	2.02
11	6380	5	5200	1	18.50	1.18	8	5.79	2	5.76	2	5.73	2	0.91	7	0.92	2	1.09	1	0.82	7	1.02	7	4.00	2.79
12	6390	4	4980	5	22.07	1.41	12	5.69	5	5.64	5	5.60	5	1.09	11	0.88	5	1.04	5	0.78	11	0.98	11	7.18	3.25
13	5540	17	4990	4	9.93	0.55	1	5.27	14	5.26	10	5.25	9	0.49	1	0.77	10	1.04	4	0.90	1	1.13	1	6.55	5.75
14	5690	16	4760	11	16.34	0.93	3	5.23	15	5.20	14	5.18	13	0.80	3	0.75	14	0.99	11	0.84	3	1.05	3	9.64	5.46
15	6710	1	5150	2	23.25	1.56	15	5.93	1	5.88	1	5.83	1	1.14	13	0.96	1	1.08	2	0.77	13	0.96	13	5.73	6.20
16	5880	10	4680	13	20.41	1.20	10	5.28	10	5.25	12	5.21	12	1.00	9	0.76	12	0.98	13	0.80	9	1.00	9	10.82	1.60
17	5740	13	4800	10	16.38	0.94	4	5.27	11	5.25	11	5.23	11	0.81	4	0.76	11	1.00	10	0.84	4	1.05	4	8.45	3.62
18	5750	12	4590	15	20.17	1.16	7	5.17	17	5.14	17	5.10	17	0.99	8	0.73	17	0.96	15	0.80	8	1.00	8	12.82	4.29

Yp: Grain yield (normal), Ys: Grain yield (stress), TOL: Tolerance index, MP: Mean productivity, GMP: Geometric mean productivity, HM: Harmonic mean, SSI: Stress susceptibility index, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, YSI: Yield stability index, RSI: Relative stress index, AR: Average of rank, SD: Standard Deviation of Rank and R: Rank

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی در دو سال و سه مکان نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۱ و ۳ به ترتیب با ۵۹۳۰، ۵۷۹۰ و ۵۷۸۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین و ژنوتیپ‌های ۱ و ۱۸ به‌ترتیب با ۴۷۱۰ و ۵۱۷۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشتند. همچنین با در نظر گرفتن کلیه آماره‌های پایداری، عملکرد دانه و شاخص‌های ارزیابی تنش، ژنوتیپ ۱۱ با شجره GS679.82/SHYRI//LAUREL/4/CERISE/SHYRI//…/5/MALOUH//Aths/Lignee686/6/Nik، ژنوتیپ ۸ با شجره Anoidium//Alanda/Hamra-01/3/Lignee527/NK1272//JLB70-63/4/Nik، ژنوتیپ ۳ با شجره 82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29/4/Sahra، ژنوتیپ ۶ با شجره Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/Sahra و ژنوتیپ ۱۵ با شجره Ashar/Beecher/5/Lignee 527/Chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//Dl71/Strain 205، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر که سازگاری مناسبی برای زراعت در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل در اقلیم معتدل دارند را می‌توان در آزمایش‌های تکمیلی معرفی رقم برای این اقلیم مورد توجه قرار داد. ساختار ژنتیکی لاین‌های یاد شده دلیل اصلی تحمل به خشکی آن‌ها است. رقم نیک با شجره Lignee527/NK1272//JLB70-63 یکی از ارقام رایج جو در اقلیم معتدل کشور است که از اصلی‌ترین مشخصه‌های آن تحمل به تنش خشکی انتهای فصل می‌باشد. در ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۸ این رقم (نیک) دوباره در شجره این لاین‌ها مورد استفاده قرار گرفته و یکی از دلایل تحمل به خشکی لاین‌های یاد شده، وجود رقم نیک در شجره آن‌ها است. در شجره لاین ۸ علاوه بر وجود رقم نیک، رقم Anoidium نیز وجود دارد که این رقم در برنامه‌های به‌نژادی جو آبی برای افزایش تحمل خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله از پروژه تحقیقاتی با شماره ۹۹۱۱۱۴-۱۳۴-۰۳-۰۳-۰ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر استخراج شده است. بدینوسیله از مساعدت همکاران ایستگاه‌های تحقیقاتی ورامین، بیرجند و یزد تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Ahakpaz, F., Bernosi, I., Abdollahi, B., Golkari, S., Jafarzadeh, J. and Udupa, S. 2020. Evaluation of barley genotypes based on morpho-physiological traits and drought tolerance indices under rainfed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 8(2), pp.153-176. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/idaj.2019.126360.257

Amini, A., Vahabzadeh, M., Majidi, I., Afyouni, D., Tabatabaei, S. M. T., Saberi, M. H., Lotfi, A. and Ravari, S. Z. A. 2010. Grain yield stability and adaptability of bread wheat genotypes using different stability indices under salinity stress conditions. *Seed and Plant Improvment Journal*, 26(3), pp.397-411. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/spij.2017.111032

Anonymous. 2023. Agricultural Statistics of 2021-2022 Cropping Season. Ministry of Agriculture-Jahad, Vol. 1. [In Persian]. https:www.maj.ir

Arazmjoo, E. and Nikkhah Chamanabad, H. 2022. Selecting tolerant barley genotypes to terminal drought stress based on grain yield stability and stress tolerance indices. *Cereal Research*, 11(4), pp.325-341. [In

Persian]. https://doi.org/10.22124/cr.2022.21573.1710

Baenziger, P. S. 2016. Wheat Breeding and Genetics. *Reference Module in Food Science*. University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, USA. https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03001-8

Barati, A., Zali, H., Lakzedeh, I., Koohkan, Sh., Jafary, J., Jabari, M., Hosseinpour, A., Marzoghiyan, A., Gholipour, A., Poodineh, O. and Kheirgo, M. 2021. Path analysis of genotype× environment interaction and evaluation of grain yield stability of barley promising lines in warm zones. *Journal of Crop Breeding,* 13(38), pp.179-192. [In Persian]. https://dx.doi.org/10.52547/jcb.13.38.179

Bidinger, F. R., Mahalakshmi, V. and Rao, G. D. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* L. Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38, pp.49-59. https://doi.org/10.1071/AR9870049

Bornare, S. S., Prasad, L. C., Prasad, R. and Lal, J. P. 2012. Perspective of barley drought tolerance; methods and mechanisms comparable to other cereals. *Journal of Progressive Agriculture,* 3, pp.68-70.

Bouslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science,* 24, pp.933-937. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x

Eberhart, S. A. T. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science,* 6 (1), pp.36-40. https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

Eslami, P., Bernousi, I., Aharizad, S. and Jafarzadeh, J. 2021. Evaluation of drought stress tolerance in barley lines using tolerance indices. *Journal of Crop Breeding,* 13(38), pp.71-83. [In Persian]. http://dx.doi.org/10.52547/jcb.13.38.71

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. *In:* Kuo, C.G. (Ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication. Tainan, Taiwan. https://doi.org/10.22001/wvc.72511

Finlay, K. W. and Wilkinson, G. N. 1963. Adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research,* 14: 742-754. https://dx.doi.org/10.1071/AR9630742

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, pp.897-912. https://dx.doi.org/10.1071/AR9780897

Fischer, R. A. and Wood, T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research,* 30, pp.1001-1020. https://doi.org/10.1071/AR9791001

Food and Agriculture Organization. 2020. Statistics: FAOSTAT Agriculture. Retrieved June 15, 2020. http://fao.org/crop/statistics.

Francis, T. R. and Kannenberg, L. W. 1978. Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 58, pp.1029-1034.

https://doi.org/10.4141/cjps78-157

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G. Ricciardi, G.L. and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77, pp.523-531. https://doi.org/10.4141/P96-130

Kang, M. S. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communications*, 16, pp.113-115. https://doi.org/23782771

Kearney, J. 2010. Food consumption trends and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365, pp.2793-2807. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0149

Kebede, A., Kang, M. S. and Bekele, E. 2019. Advances in Mechanisms of Drought Tolerance in Crops, with Emphasis on Barley. pp.265-314. *In:* Sparks, D. L. (Eds.) *Advances in Agronomy,* Salt Lake City: Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.008

Mosaddek Ahmed, I., Aktari Nadira, U., Zhang, G. and Wu, F. 2016. Exploration and utilization of drought-tolerant barley germplasm. pp.115-152. *In*: Li, G. and Za. C. (Eds.) Exploration, Identification and Utilization of Barley Germplasm. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802922-0.00005-4

Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, pp.651-681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Najafi Mirak, T., Moayedi, A. A., Sasani, S. and Ghandi, A. 2019. Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(2), pp.127-138. [In Persian]. https://dx.doi.org/10.29252/abj.21.2.127

Nakhaei, A., Arazmjoo, E. and Abbasi, M. R. 2019. Evaluation of yield and agronomical traits of foxtail millet (*Setaria italica* L. Beauv.) genotypes under salinity stress andintroducingthe best tolerance index to salinity. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(3), pp.933-948. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1569.1355

Nassar, R. and Huhn, M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, 43, pp.45-53. https://doi.org/10.2307/2531947

Nikkhah, H. R., Tajali, H., Tabatabaie, S. A. and Taheri, M. 2022. Evaluation of yield stability and drought tolerance of barley genotypes in temperate regions of the Iran. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), pp.1-17. [In Persian]. https://dx.doi.org/10.52547/jcb.14.44.1

Plaisted, R. I. and Peterson. L. C. 1959. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*, 36, pp.381-385. https://doi.org/10.1007/BF02852735

Plaisted, R. L. 1960. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *American Potato Journal,* 37, pp.166-172. https://doi.org/10.1007/BF02855271

Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P. and

Siddique, K. H. M. 2019a. iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in Plant Sciences*, 7(7), e11278. https://doi.org/10.1002/aps3.11278

Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P. and Siddique, K. H. M. 2019b. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Sciences*, 7(1), e1211. https://doi.org/10.1002/aps3.1211

Rosielle, A. A. and Hambling, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science,* 21, pp.943-946. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x

Sallam, A., Alqudah, A. M., Dawood, M. F. A., Baenziger, P. S. and Börner, A. 2019. Drought stress tolerance in wheat and barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research. *International Journal of Molecular Sciences*, 27; 20 (13), pp.3137. https://doi.org/10.3390/ijms20133137

Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity,* 29, pp.237-245. https://doi.org/10.1038/hdy.1972.87

Tester, M. and Langridge, P. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science,* 327, pp.818-822. https://doi.org/10.1126/science.1183700

Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. PhD Dissertation, PJ School, IARI, New Delhi, India.

Wiegmann, M., Thomas, W. T., Bull, H. J., Flavell, A. J., Zeyner, A., Peiter, E., Pillen, K. and Maurer, A. 2019. Wild barley serves as a source for biofortification of barley grains. *Plant Science,* 283, pp.83-94. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.12.030

Wricke, G. 1962. Übereine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung,* 47, pp.92-96.